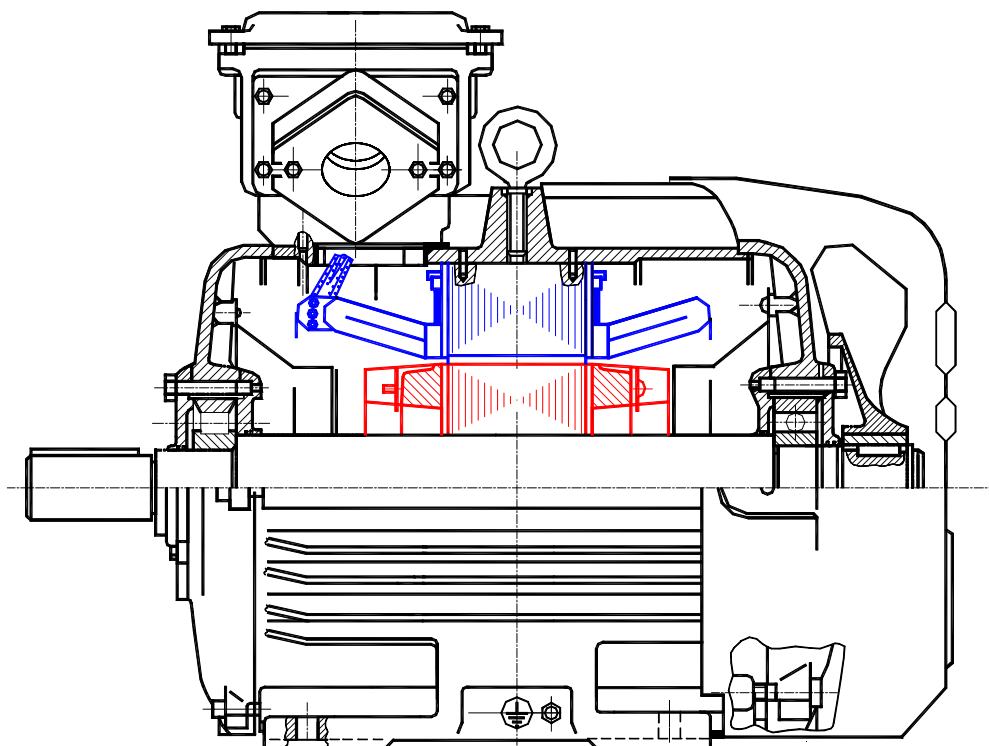


*Институт механики и энергетики  
Кафедра Электропривода и электротехнологий*



# Электрические машины

## Часть 2. АСИНХРОННЫЕ МАШИНЫ

*Лабораторная работа #2*

МОСКВА \* 2014

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

### Оглавление

1. Цель работы .....	3
2. Программа работы .....	3
3. Основы теории .....	
4. Экспериментальные исследования .....	4
4.1. Определение коэффициента трансформации.....	4
4.2. Пуск двигателя. Опыт холостого хода .....	4
4.3. Опыт короткого замыкания.....	7
4.4. Опыт нагрузки. Рабочие характеристики .....	9
4.5. Пуск двигателя при несимметрии цепи обмотки ротора .....	10
4.6. Построение круговой диаграммы по данным опытов холостого хода и короткого замыкания .....	11
4.6.1. Перечень необходимых данных для построения .....	11
4.6.2. Последовательность построения упрощенной диаграммы .....	12
4.6.3. Определение по круговой диаграмме номинальной точки, мощностей и потерь мощности двигателя .....	14
4.6.4. Определение по круговой диаграмме значений коэффициента мощности, коэффициента полезного действия и скольжения .....	15
4.6.5. Определение по круговой диаграмме максимального электромагнитного момента, характеристик $s = f(M_{эм}), s = f(I_1)$ и кратностей пускового момента и пускового тока ..	16
Примечание. Оценка точности построения круговой диаграммы .....	19
5. Содержание и оформление отчета .....	20
6. Контрольные вопросы.....	20
Рис. 2.1. Схема лабораторной установки для исследования АД с фазным ротором .....	5
Рис. 2.2. Упрощенная круговая диаграмма асинхронной машины .....	13
Рис. 2.3. Последовательность перехода с верхнего диапазона измерений токов «15 А» на диапазон измерений токов «7.5 А» (на примере амперметра PA1) .....	21
Рис. 2.4. Фотография приборной панели лабораторного стенда для исследования трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором .....	22
Рис. 2.5. Фотография исследуемого агрегата «Трехфазный асинхронный двигатель с фазным ротором – электромашинный динамометр» .....	22

## **1. Цель работы**

Ознакомиться с устройством асинхронного двигателя с фазным ротором, уяснить принцип действия, пуск и реверсирование. Овладеть техникой и методикой снятия характеристик, освоить построение круговой диаграммы асинхронного двигателя по экспериментальным данным и определение по ней основных величин, характеризующих работу двигателя.

## **2. Программа работы**

**2.1.** Определить коэффициент трансформации двигателя.

**2.2.** Осуществить пуск асинхронного двигателя.

**2.3.** Провести опыт холостого хода и построить зависимости  $I_x, P_x, \cos \varphi_x = f(U_x)$ . Произвести разделение потерь мощности холостого хода  $P_x$  на электрические потери в обмотке статора  $p_{\text{эл}}$ , магнитные потери  $p_{\text{мг}}$  в магнитопроводе и механические  $p_{\text{мх}}$ .

**2.4.** Провести опыт короткого замыкания и построить зависимости  $I_k, P_k, \cos \varphi_k = f(U_k)$ .

**2.5.** Провести опыт нагрузки двигателя и построить рабочие характеристики  $I_1, P_1, M, \cos \varphi, \eta, s = f(P_2)$ , где  $P_2$  – механическая вторичная мощность на валу двигателя.

**2.6.** Осуществить пуск двигателя при несимметрии цепи обмотки ротора.

**2.7.** По данным опытов (п.п. **2.3** и **2.4**) построить круговую диаграмму и пользуясь ею определить значения величин, характеризующих работу асинхронного двигателя (см. разд. **4.6.3...4.6.5**). По круговой диаграмме определить и построить зависимости:  $s, n/n_1 = f(M_{\text{эм}})$ ;  $s, n/n_1 = f(I_1)$ , где  $n/n_1 = 1 - s$ .

### 3. Основы теории

#### 4. Экспериментальные исследования

Исследование асинхронного двигателя с фазным ротором выполняется на лабораторной установке, состоящей из двигателя, электродвигательного динамометра и пускового реостата  $RR_{\Pi}$ . На рис. 2.1 приведена схема опыта и номинальные данные исследуемого асинхронного двигателя типа АК51/4.

Момент нагрузки на валу электродвигателя создается динамометром и регулируется реостатом, включенным по схеме потенциометра  $RP$  в цепь обмотки возбуждения  $LG$  динамометра. Значение момента непосредственно считывается со шкалы динамометра, которая проградуирована в кгс·м. Для выражения момента в Н·м необходимо умножить показание, определенное по шкале динамометра, на коэффициент 9,80665, так как имеет место соотношение  $1 \text{ кгс} = 9,80665 \text{ Н}$  (точно).

Значения омических сопротивлений фазы обмотки статора и ротора:

$$R_1 = 1,5 \text{ Ом}; R_2 = 0,15 \text{ Ом}. \quad (1)$$

#### 4.1. Определение коэффициента трансформации

1. Отсоединить пусковой реостат  $RR_{\Pi}$  от выводов обмотки ротора (рис. 2.1, гнезда 6, 7 и 8): обмотка ротора разомкнута, ротор неподвижен. Установить верхнее значение диапазона измерения вольтметра  $PVI$  на **600 В**, *цена деления – 4 В/дел*; выставить *рукоятку на шкале* автотрансформатора на **0,0 В**;
2. Включить автомат  $QFI$ : обмотка статора подсоединена к трехфазной сети;
3. Установить автотрансформатором номинальное линейное напряжение  $U_{\text{НОМ}} = 380 \text{ В}$ ;
4. Измерить напряжение на обмотке статора и на контактных кольцах ротора (гнезда **6** и **7**).

За действительное значение коэффициента трансформации принимают отношение измеренных линейных напряжений статора и ротора,  $K = U_{V-W}/U_{M-K}$ .

Полученные результаты занести в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Статор: $U_{V-W}$ , В	Ротор: $U_{M-K} = U_{6-7}$ , В	$K$
380		

#### 4.2. Пуск двигателя. Опыт холостого хода

При холостом ходе двигателя обмотка статора подключена к напряжению электросети, а на валу отсутствует механическая нагрузка.

**Пуск двигателя на холостой ход осуществить следующим образом.**

1. Установить верхнее значение диапазона измерений амперметров  $PA1$ ,  $PA2$  и  $PA3$  на **15 А**, *цена деления – 10 А/дел*. Трансформаторы тока в схему не включены.
2. Установить пусковой реостат  $RR_{\Pi}$  в положение “**Пуск АД**” (**введен**);
3. Выставить *рукоятку на шкале* автотрансформатора на напряжение  $U_1 = 200 \text{ В}$ ;
4. Включить автомат  $QFI$ : ротор двигателя неподвижен;
5. **Плавно** и *постепенно* перевести реостат  $RR_{\Pi}$  в положение “**Ход АД**” (**выведен**): *ротор вращается*. Увеличить напряжение  $U_1$  до 380 В. При установившемся значении токов и скорости **пуск завершен**.

При напряжении  $U_{\text{НОМ}} = 380 \text{ В}$  измерить бесконтактным цифровым тахометром установившуюся частоту вращения ротора  $n_x$  {**отражающая метка** находится на периферии ротора (диска динамометра)}. Показание записать.

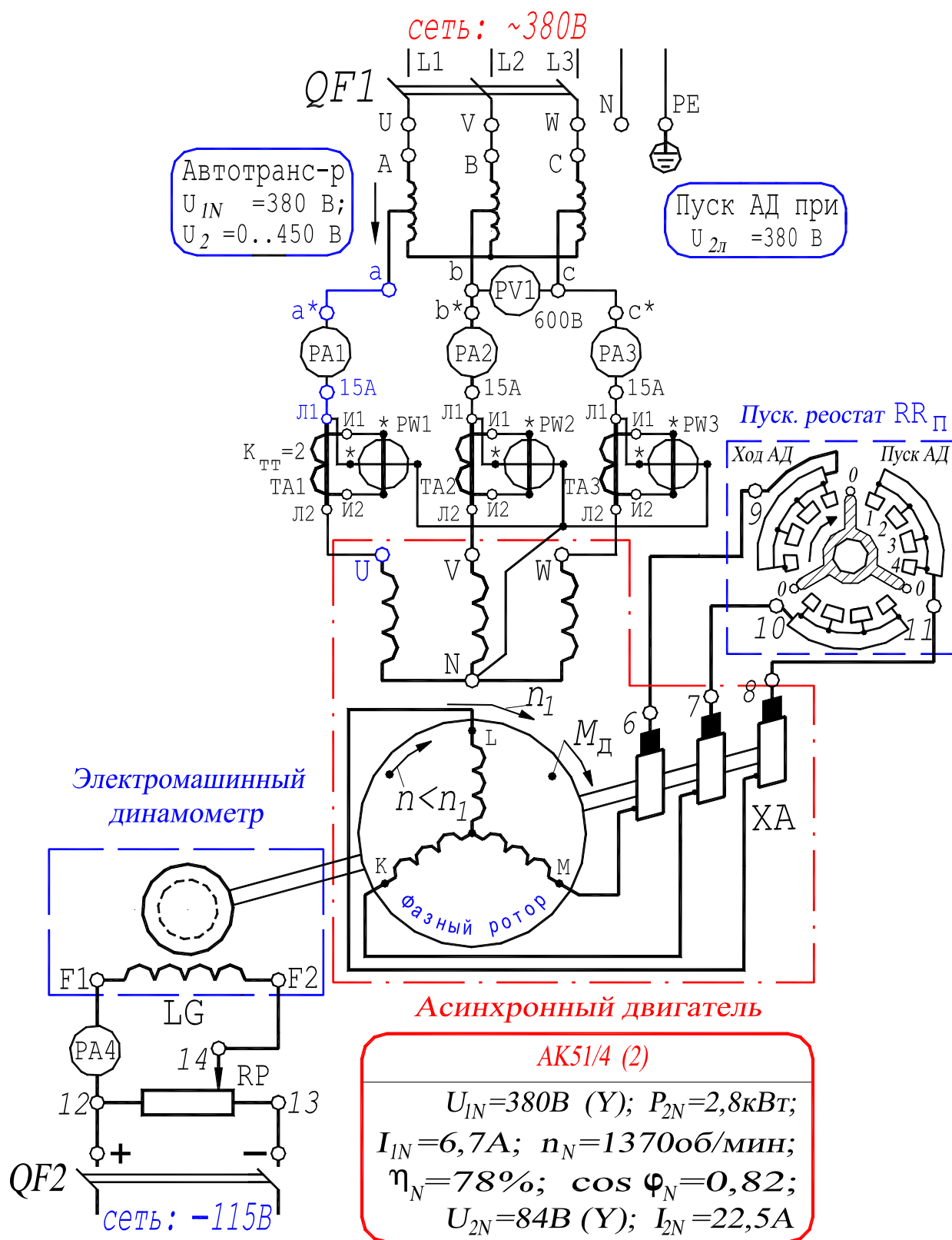


Рис. 2.1. Схема лабораторной установки для исследования асинхронного двигателя с фазным ротором

при коротком замыкании (разд. 4.3) и при нагрузке (разд. 4.4).

Опыт холостого хода проводить без трансформаторов тока (разд. 4.2).

Пуск двигателя на холостой ход без трансформаторов тока выполнять при  $U_{2л} = 200\text{ В}$ .

*Осуществить реверс двигателя* в следующей последовательности.

1. Отключить автоматом *QF1* двигатель от электросети;
2. Изменить чередование фаз обмотки статора (поменять местами проводники на началах фаз обмотки статора *U* и *V*);
3. В соответствии с указанной выше последовательностью осуществить пуск еще раз.

Двигатель от электросети не отключать.

В опыте холостого хода измеряют величины: подведенное линейное напряжение (вольтметр *PV1*, установить верхнее значение диапазона измерений на **600 В**, цена деления – 4 В/дел), линейные токи статора (амперметры *PA1*, *PA2*, *PA3*) и активную мощность (ваттметры *PW1*, *PW2*, *PW3*. Установить верхнее значение диапазона измерений ваттметров по напряжению на **300 В**, по току – **5 А**, цена деления – 10 Вт/дел).

В процессе всех опытов записывать значения коэффициентов:  $K_{ам}$  – цена деления амперметров *PA1*, *PA2*, *PA3*;  $K_{вт}$  – цена деления ваттметров *PW1*, *PW2*, *PW3*.

Опыт холостого хода осуществить в следующей последовательности.

1. Установить верхнее значение диапазона измерений амперметров *PA1*, *PA2*, *PA3* на **7,5 А** (цена деления – 5 А/дел; последовательность перехода на другой диапазон – см. рис. 2.3 на стр. 21).
2. Установить автотрансформатором линейное напряжение на зажимах обмотки статора равным  $U_x = 1,15U_{ном} \approx 420 \dots 440$  В (вольтметр *PV1*), затем уменьшать до величины 160 В с шагом примерно 20...40 В;
3. Записывать в табл. 2.2 показания приборов при каждом дискретном значении напряжения (одно из измерений произвести при  $U_{ном} = 380$  В). При последнем, меньшем, значении напряжения измерить и записать частоту вращения ротора  $n_x$ .

Двигатель от электросети отключить; выставить реостат  $RR_{п}$  в положение “Пуск АД”.

По данным опыта построить характеристики холостого хода  $I_x$ ,  $P_x$ ,  $\cos \varphi_x = f(U_x)$  и зависимость  $p_{мг} + p_{мх} = f(U_x^2)$  {см. ниже разд. 3), п.п. а), б), в)}.

Таблица 2.2

Измерение							Расчет								
$U_x$	$I_{Ux}$	$I_{Vx}$	$I_{Wx}$	$P_{Ux}$	$P_{Vx}$	$P_{Wx}$	$I_x$	$P_x$	$\cos \varphi_x$	$p_{э1}$	$U_x^2$	$p_{мг} + p_{мх}$	$p_{мг}$	$p_{мх}$	
В	дел.	дел.	дел.	дел.	дел.	дел.	А	Вт	–	Вт	В <sup>2</sup>	Вт	Вт	Вт	

Расчетные величины определить в следующем порядке:

1) Ток холостого хода  $I_x$  по формуле  $I_x = I_{лх} = I_{фх} = K_{ам} \cdot (I_{U_x} + I_{V_x} + I_{W_x})/3$ , А. (2)

При построении круговой диаграммы использовать фазное значение тока холостого хода, соответствующее номинальному напряжению  $U_{1ном} = 380$  В,  $I_{фх} = I_x$ . (3)

2) Потери холостого хода и коэффициент мощности по формулам:

$P_x = K_{вт} \cdot (P_{U_x} + P_{V_x} + P_{W_x}) = K_{вт} \cdot (P_{U_x} + P_{V_x} + P_{W_x})$ , Вт (без трансформатора), (4)

$\cos\varphi_x = P_x / \sqrt{3} U_x I_x$ . (5)

3) Разделение потерь холостого хода  $P_x$  (определение магнитных  $p_{мг}$  и механических  $p_{мх}$  потерь) произвести следующим образом:

а) Определить электрические потери в обмотке статора:

$p_{э1} = 3 \cdot I_x^2 R_{1(75^\circ)}$ , (6)

где  $R_{1(75^\circ)}$  - сопротивление фазы обмотки статора, приведенное к расчетной рабочей температуре двигателя, составляющей  $75^\circ\text{C}$ .

$R_{1(75^\circ)} = R_{1(t)} (235^\circ + 75^\circ) / (235^\circ + t)$ . (7)

где  $t$  - температура окружающей среды, при которой производится измерение сопротивления  $R_{1(t)}$ . Величина сопротивления  $R_{1(t)}$  приводится в паспорте двигателя {см. значение на стр. 4, формула (1);  $R_{1(t)} = 1,5$  Ом}, а значение температуры  $t$  можно приближенно принять равным  $20^\circ\text{C}$ .

б) Определить сумму магнитных и механических потерь:

$p_{мг} + p_{мх} = P_x - p_{э1}$ .

в) Построить зависимость  $p_{мг} + p_{мх} = f(U_x^2)$ , которая должна представлять собой прямую линию. Провести между опытными точками указанной зависимости прямую линию до пересечения с осью ординат. Значение механических потерь равно отрезку, отсекаемому этой прямой на оси ординат. Все ординаты выше горизонтальной линии механических потерь {разность  $(p_{мг} + p_{мх}) - p_{мх}$ }, соответствуют магнитным потерям (в стали).

Результаты расчетов, полученные в п.п. 1) ... 3), записать в табл. 2.2.

Для построения круговой диаграммы использовать значения  $I_{фх}$ ,  $P_x$ ,  $p_{мг}$  и  $p_{мх}$  соответствующие номинальному линейному напряжению  $U_x = U_{1ном} = 380$  В (номинальное фазное напряжение  $U_{фх} = U_{1ном} / \sqrt{3} = 220$  В).

### 4.3. Опыт короткого замыкания

Включить в схему трансформаторы тока (рис. 2.1). Установить верхнее значение диапазона измерений амперметров на **7,5 А** (цена деления – 5 А/дел; последовательность перехода на другой диапазон – см. рис. 2.3 на стр. 21). Замкнуть обмотку ротора двигателя на контактных кольцах (рис. 2.1, гнезда 6, 7 и 8; пусковой реостат  $RR_{п}$  отсоединить). Ротор затормозить: в отверстие в диске (роторе) динамометра вставить шпильку. К обмотке статора подводить пониженное напряжение  $U_k \leq 100$  В, при котором токи в обмотке не превышают значение  $1,1 \cdot I_{1ном} = 1,1 \cdot 6,7 \approx 7,5$  А.



В процессе опыта короткого замыкания измеряют величины: подведенное линейное напряжение (вольтметр  $PVI$ , установить верхнее значение диапазона измерений на **150 В**, цена деления – 1 В/дел); ток статора (амперметры  $PA1, PA2, PA3$ ); активная мощность (ваттметры  $PW1, PW2, PW3$  включены через трансформаторы тока  $TA1, TA2, TA3$ ; их коэффициент трансформации  $K_{ТТ} = 2$ . Установить верхнее значение диапазона измерений ваттметра по напряжению на **150 В**, по току на **5 А**; цена деления – 5 Вт/дел).

При значении тока обмотки статора менее 3 А, целесообразно установить верхнее значение диапазона измерений амперметра  $PA3$  на 3 А (цена деления – 2 А/дел; последовательность перехода на другой диапазон – см. рис. 2.3 на стр. 21).

Опыт короткого замыкания осуществить в следующей последовательности.

1. Установить *рукоятку на шкале* автотрансформатора на напряжение **0,0 В**;
2. Включить автомат  $QF1$ : обмотка статора подключена к электросети;
3. **Плавно** увеличить автотрансформатором напряжение на обмотке статора двигателя до такого *пониженного* значения (примерно **100 В**) при котором линейный (фазный) ток короткого замыкания  $I_k$  составит примерно  $1,1 \cdot I_{НОМ} \approx 7,5$  А (амперметр  $PA3$ );
4. Уменьшать ток с шагом *примерно 1...1,5 А* и записывать в табл. 2.3 показания приборов при каждом дискретном значении тока (одно из измерений произвести при токе  $I_k = I_{НОМ} = 6,7$  А). Измерения производить до тех пор, пока возможно фиксировать величину напряжения:  $U_1 = U_k = 30$  В.

После выполнения опыта *двигатель отключить от электросети*.

По данным опыта построить характеристики короткого замыкания  $I_k, P_k, \cos \varphi_k = f(U_k)$ .

Таблица 2.3

Измерение							Расчет		
$U_k$	$I_{Uk}$	$I_{Vk}$	$I_{Wk}$	$P_{Uk}$	$P_{Vk}$	$P_{Wk}$	$I_k$	$P_k$	$\cos \varphi_k$
В	дел.	дел.	дел.	дел.	дел.	дел.	А	Вт	–

Расчетные величины определить в следующем порядке:

1) Ток короткого замыкания  $I_k$  по формуле  $I_k = I_{лк} = I_{фк} = K_{ам} \cdot (I_{Uk} + I_{Vk} + I_{Wk})/3$ , А. (8)

2) Потери короткого замыкания и коэффициент мощности по формулам

$$P_k = K_{вт} \cdot K_{тт} \cdot (P_{Uk} + P_{Vk} + P_{Wk}) = K_{вт} \cdot 2 \cdot (P_{Uk} + P_{Vk} + P_{Wk}), \text{ Вт},$$

(9)



$$\cos \varphi_k = P_k / \sqrt{3} U_k I_k. \quad (10)$$

Для построения круговой диаграммы фазный (линейный) ток короткого замыкания  $I_{кн}$  и потери короткого замыкания  $P_{кн}$ , соответствующие номинальному линейному напряжению обмотки статора  $U_{1ном} = 380$  В, рассчитать по формулам:

$$I_{кн} = I_k (U_{1ном} / U_k) = I_k (380 / U_k), \quad (11)$$

где  $I_k = 6,7$  А – фазный (линейный) ток короткого замыкания, равный номинальному значению;  $U_k$  – измеренное линейное напряжение короткого замыкания, соответствующее току  $I_k = 6,7$  А;

$$P_{кн} = P_k (I_{кн} / I_k)^2 = P_k (I_{кн} / 6,7)^2, \quad (12)$$

где  $P_k$  – потери короткого замыкания при токе  $I_k = 6,7$  А.

#### 4.4. Опыт нагрузки. Рабочие характеристики

В процессе опыта поддерживать автотрансформатором напряжение неизменным и равным номинальному значению,  $U_{1ном} = 380$  В. Измерение частоты вращения  $n$  ротора осуществлять бесконтактным цифровым тахометром, **отражающая метка** находится на периферии ротора (диска) динамометра.

Опыт нагрузки осуществить в следующей последовательности.

1. Включить в цепь ротора пусковой реостат  $RR_{п}$  (рис. 2.1, гнезда 6, 7 и 8; положение “Пуск АД”), устранить затормаживание ротора и установить на вольтметре  $PVI$  верхнее значение диапазона измерений на **600 В**, *цена деления – 4 В/дел*;
2. Осуществить пуск двигателя на холостой ход так, как указано в **разд. 4.2**, п.п. 1...5; Установить верхнее значение диапазона измерений амперметров на **7,5 А** (*цена деления – 5 А/дел*; **последовательность перехода на другой диапазон – см. рис. 2.3 на стр. 21**).
3. Установить движок потенциометра  $RP$  в цепи обмотки  $LG$  динамометра в *нижнее положение*. Включить автомат  $QF2$ : обмотка  $LG$  подключена к источнику постоянного тока;
4. Потенциометром  $RP$  отрегулировать момент динамометра так, чтобы ток в обмотке статора принял значение  $1,1 \cdot I_{1ном} \approx 7,5$  А (движок потенциометра в верхнем положении);
5. Разгружая двигатель *вплоть до холостого хода*, уменьшать ток в обмотке статора с шагом примерно **1...1,5 А** и записывать в табл. 2.4 показания приборов при каждом дискретном значении тока (произвести одно из измерений при токе  $I_{1ном} = 6,7$  А).

По данным опыта построить рабочие характеристики двигателя  $I_1, P_1, M, \cos \varphi, \eta, s = f(P_2)$ .  
Таблица 2.4

Измерение								Расчет						
$I_U$	$I_V$	$I_W$	$P_U$	$P_V$	$P_W$	$M$	$n$	$s$	$I_1$	$P_1$	$M$	$P_2$	$\eta$	$\cos \varphi$
дел.	дел.	дел.	дел.	дел.	дел.	кгс·м	об/мин	–	А	Вт	Н·м	Вт	%	–

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

После выполнения опыта выключить автоматы *QF1* и *QF2*: двигатель и динамометр отключены. Установить реостат  $RR_{\Pi}$  в положение “Пуск АД” (введен); Перевести движок потенциометра  $RP$  в *нижнее* положение.

*Расчетные величины* (см. табл. 2.4) *определить в следующем порядке.*

1) Скольжение ротора двигателя по формуле

$$s = (n_1 - n)/n_1, \quad (13)$$

где  $n_1 = 60f_1/p = 60 \cdot 50/2 = 1500$  об/мин – синхронная частота вращения первой гармоники магнитного поля;

2) Ток обмотки статора по формуле  $I_1 = K_{ам} \cdot (I_U + I_V + I_W)/3$ , А; (14)

3) Активная мощность, потребляемая двигателем из сети, по формуле

$$P_1 = K_{вт} \cdot K_{тт} \cdot (P_U + P_V + P_W) = K_{вт} \cdot 2 \cdot (P_U + P_V + P_W), \text{ Вт}; \quad (15)$$

4) Величина момента нагрузки на валу двигателя в системе единиц СИ:

$$M, \text{ Н} \cdot \text{м} = 9,80665 \cdot (M, \text{ кгс} \cdot \text{м}); \quad (16)$$

5) Полезная механическая мощность на валу двигателя:

$$P_2 = 0,1047 \cdot M \cdot n, \text{ Вт}; \quad (17)$$

6) Коэффициент полезного действия двигателя:  $\eta = 100 \cdot P_2/P_1, \%$ ; (18)

7) Коэффициент мощности:  $\cos \varphi = P_1 / \sqrt{3} U_{1ном} I_1$ . (19)

#### 4.5. Пуск двигателя при несимметрии цепи обмотки ротора

Пуск двигателя осуществить в следующей последовательности.

1. Установить верхнее значение диапазона измерений амперметров на **15 А** (*цена деления – 10 А/дел; последовательность перехода на другой диапазон – см. рис. 2.3 на стр. 21*).
2. Разомкнуть цепь одной фазы обмотки ротора (рис. 2.1, фаза *L*, гнездо **8**);
3. Установить реостат  $RR_{\Pi}$  в положение “Ход АД” (**выведен**);
4. Установить *рукояткой на шкале* автотрансформатора *пониженное* напряжение  $U_1 = \mathbf{220}$  В;
5. Включить автомат *QF1* и **плавно** поднять напряжение до номинального значения  $U_{1ном} = \mathbf{380}$  В. Измерить и записать в табл. 2.5 значения напряжения  $U_{1ном}$ , тока  $I_1$  обмотки статора (его значение примерно **12** А), а также частоты  $n$  вращения ротора;
6. **Плавно** и *постепенно* **ввести 2** или **3 ступени** реостата  $RR_{\Pi}$  и еще раз измерить и записать в табл. 2.5 значения напряжения  $U_{1ном}$ , тока  $I_1$  (его значение примерно **4** А) и частоты  $n$  вращения ротора.

Таблица 2.5

Положение пускового реостата $RR_{\Pi}$							
“Ход АД” (реостат выведен)				Введены ступени реостата $RR_{\Pi}$			
$U_{1ном}$	$I_1$	$n$	$s$	$U_{1ном}$	$I_1$	$n$	$s$
В	А	об/мин	–	В	А	об/мин	–
<b>380</b>				<b>380</b>			

Значение скольжения  $s$  рассчитать по формуле (13),  $s = (n_1 - n)/n_1 = (1500 - n)/1500$ .

#### 4.6. Построение круговой диаграммы по данным опытов холостого хода и короткого замыкания

**Определение.** Круговая диаграмма асинхронной машины – это геометрическое место (годограф) концов векторов токов статора и ротора вращающейся асинхронной машины при её работе в разных режимах, а именно: двигателя, генератора и электромагнитного тормоза.

Круговую диаграмму строят по данным опытов холостого хода и короткого замыкания. *Достоинство состоит в том*, что по диаграмме можно определить рабочие характеристики двигателя, а также механическую и скоростную характеристики не загружая его. Отметим, что эксплуатационные характеристики трансформатора также определяют по данным опытов холостого хода и короткого замыкания.

##### 4.6.1. Перечень необходимых данных для построения

Для построения круговой диаграммы с целью проверки гарантированных значений: коэффициента полезного действия  $\eta$ , коэффициента мощности  $\cos \varphi$  и скольжения  $s$  при номинальной нагрузке необходимы следующие данные.

1) *Фазное значение тока холостого хода*  $I_{\text{фх}}$  при номинальном напряжении  $U_1 = U_{1\text{ном}} = 380$  В и номинальной частоте  $f_1 = f_{1\text{ном}}$  {см. табл. 2.2 и формулу (3)} {считаем, что ток реального холостого хода  $I_{\text{фх}}$  и ток идеального холостого хода  $I_0$  (см. рис. 2.2) равны,  $I_0 \approx I_{\text{фх}}$ }.

2) *Потери холостого хода*  $P_x$  при номинальном напряжении  $U_1 = U_{1\text{ном}} = 380$  В и номинальной частоте  $f_1 = f_{1\text{ном}}$  (см. табл. 2.2).

3) *Разность между потерями холостого хода и механическими*  $P_x - p_{\text{мх}}$  при номинальном напряжении  $U_1 = U_{1\text{ном}} = 380$  В и номинальной частоте  $f_1 = f_{1\text{ном}}$  (см. табл. 2.2).

4) *Фазное значение тока короткого замыкания*  $I_{\text{кз}}$  при номинальном напряжении  $U_1 = U_{1\text{ном}} = 380$  В {см. формулу (11)}.

5) *Потери короткого замыкания*  $P_{\text{кз}}$  при номинальном напряжении  $U_1 = U_{1\text{ном}} = 380$  В {см. формулу (12)}.

6) *Сопротивление фазы обмотки статора*  $R_{1(75^\circ)}$ , приведенное к расчетной рабочей температуре {см. формулу (7)}.

Значения величин, перечисленных в *п.п. 1) ... 6)*, записать в табл. 2.6 (выше диагоналей).

Таблица 2.6

$m_i$	$m_p$	$I_0 \approx I_{\text{фх}}$ $O_1O$	$P_x$ $O'O''$	$P_x - p_{\text{мх}}$ $O'O$	$I_{\text{кз}}$ $O_1K$	$P_{\text{кз}}$ $KH_1$	$R_{1(75^\circ)}$
А/см	Вт/см	А см	Вт см	Вт см	А см	Вт см	Ом

--	--	--	--	--	--	--	--

**Примечание.** Ниже диагоналей в первой строке таблицы приведены обозначения длин отрезков, которые в масштабе тока  $m_i$  (или в масштабе мощности  $m_p$ ) соответствуют значениям тока (или мощности); значения длин этих отрезков рассчитать после выполнения *п.п. 2) и 3) раздела 4.6.2* и затем записать в табл. 2.6 (ниже диагоналей).

#### **4.6.2. Последовательность построения упрощенной круговой диаграммы**

Построение круговой диаграммы (рис. 2.2) выполнить на листе миллиметровой бумаги формата А4 следующим образом (все данные см. в табл. 2.6).

1) Из точки  $O_1$  проводят ось абсцисс  $O_1X$  и ось ординат  $O_1Y$ . Ось ординат соответствует фазному напряжению  $U_{1ф.ном} = 220$  В обмотки статора;

2) Выбирают масштаб тока  $m_i$ , А/см (рекомендуется принять масштаб тока  $m_i$  в диапазоне 1,5...2,0 А/см. Значение масштаба записать в табл. 2.6);

3) Определяют масштаб мощности по формуле (значение записать в табл. 2.6)

$$m_p = 3m_i \cdot U_{1ф.ном} = 3m_i \cdot 220, \text{ Вт/см};$$

4) Строят точку идеального ( $s = 0$ ) холостого хода  $O$  по фазному току  $I_{фх}$  (отрезок  $O_1O$ ) и потерям  $P_x - p_{мх}$  (отрезок  $O'O$ ). Для построения проводят прямую  $OD$  параллельно оси абсцисс на расстоянии  $O'O$  от оси. Затем из точки  $O_1$  раствором циркуля  $O_1O$  отсекают прямую  $OD$  в точке  $O$ , которая и является точкой идеального холостого хода ( $s = 0,0$ ). Проводят линию  $O_1O$ , которую считают соответствующей току идеального холостого хода  $I_0$  (см. рис. 2.2);

5) Строят точку короткого замыкания  $K$  по фазному току  $I_{кн}$  (отрезок  $O_1K$ ) и потерям  $P_{кн}$  (отрезок  $KH_1$ ). Для построения проводят прямую параллельно оси абсцисс на расстоянии  $KH_1$  от оси. Затем из точки  $O_1$  раствором циркуля  $O_1K$  отсекают эту прямую в точке  $K$ , которая и является точкой короткого замыкания ( $s = 1,0$ ). Проводят линию  $O_1K$ ;

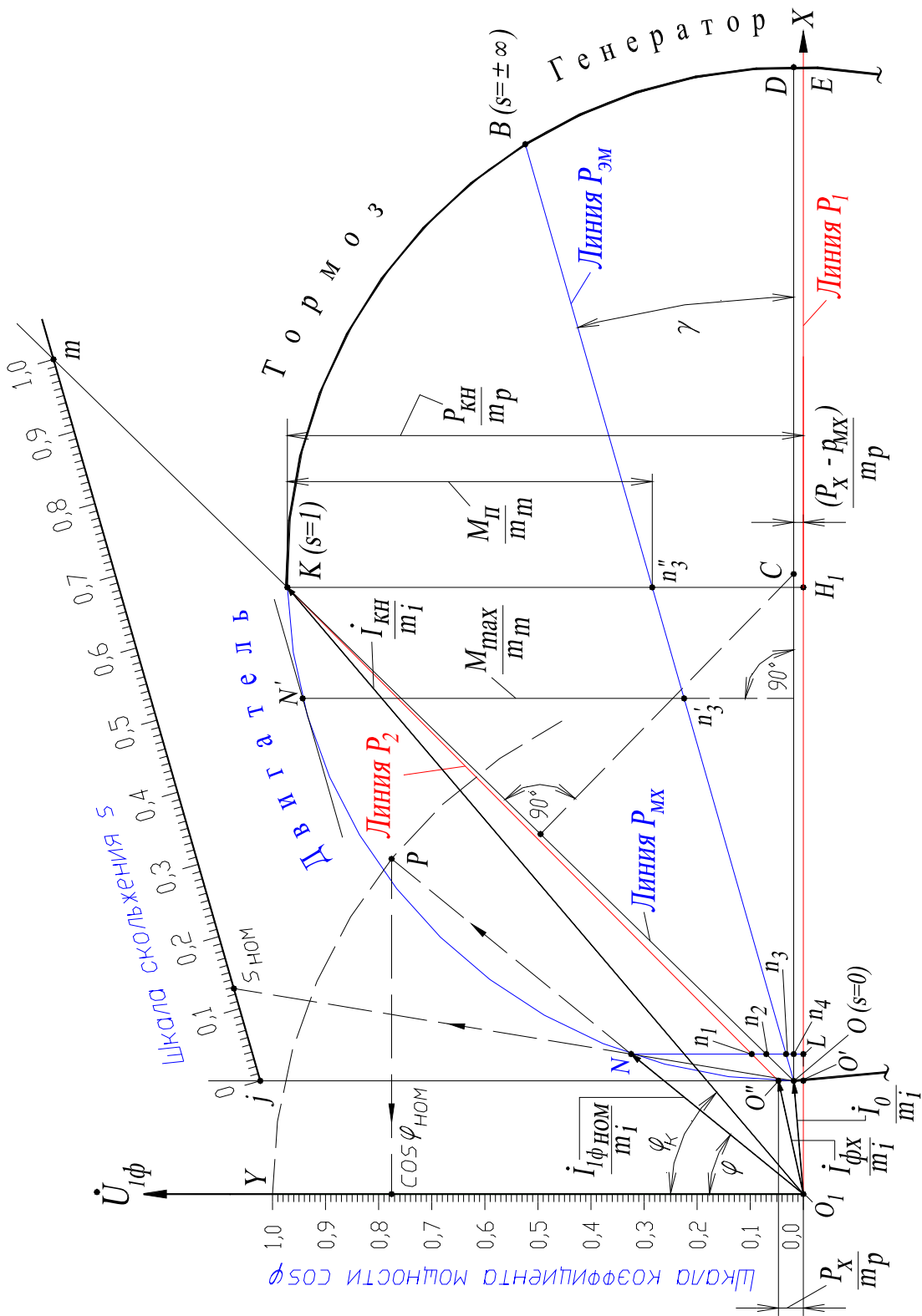


Рис. 2.2. Упрощенная круговая диаграмма асинхронной машины.  
 (масштабы: тока  $m_i = 1,87$  А/см; мощности  $m_p = 1234$  Вт/см; момента  $m_m = 7,856$  Н.м/см)

6) Проводят отрезок  $OK$ , который соответствует току  $-I''_{2\text{кн}}$  Г-образной схемы замещения при скольжении  $s = 1,0$  (см. рис. 2.2). Из середины отрезка  $OK$  восстанавливают перпендикуляр (пунктирная линия) до пересечения с линией  $OD$  в точке  $C$ . Через точки  $O$  и  $K$  проводят окружность с центром в точке  $C$ , которая и является годографом векторов тока статора  $I_1$  и ротора  $-I''_2$ ;

7) Строят точку реального холостого хода  $O''$  по потерям  $P_x$  (отрезок  $O'O''$ ). Точка  $O''$  расположена на одной вертикали с точкой идеального холостого хода  $O$  выше оси абсцисс  $O_1X$  на величину отрезка  $O'O''$ . Проводят линию  $O_1O''$ , которая соответствует току реального холостого хода  $I_{\text{фх}}$ . Проводят линию  $O''K$ ;

8) Проводят под углом  $\gamma$  прямую  $OB$ , точка  $B$  соответствует скольжению  $s = \pm\infty$ , при этом

$$\text{tg } \gamma = D_a R_{1(75^\circ)} / U_{1\text{ф.ном}},$$

где  $D_a$  - диаметр диаграммы (отрезок  $OD$ ), выраженный в амперах ( $D_a = m_i \cdot OD$ );

9) Строят шкалу коэффициента мощности:

Проводят дугу (пунктирная линия) радиусом **10 см** с центром в точке  $O_1$  до пересечения с осью ординат в точке  $Y$ .

Линия  $O_1Y$  является шкалой коэффициента мощности  $\cos \varphi$ .

10) Строят шкалу скольжений:

а) проводят касательную  $Oj$  в точке  $O$  ( $s = 0$ );

б) проводят линию  $jm$  параллельно линии  $OB$  на таком расстоянии, чтобы отрезок  $jm$  (он расположен между линией  $Oj$  и продолжением отрезка  $OK$ ) удобно делился на 100 частей;

в) линия  $jm$  является шкалой скольжения.

На этом построение круговой диаграммы закончено.

На годографе векторов токов статора и ротора имеются три характерные точки  $O$ ,  $K$  и  $B$ , которые соответствуют значениям скольжения  $s = 0$ ; 1 и  $\pm\infty$  и делят окружность на три части, соответствующие режимам: двигателя (дуга  $OO''K$ ), генератора (дуга  $BO'O$ ) и электромагнитного тормоза (дуга  $KB$ ) (рис. 2.2).

#### 4.6.3. Определение по круговой диаграмме номинальной точки, мощностей и потерь мощности двигателя

1) Определение на круговой диаграмме точки  $N$ , соответствующей номинальному режиму работы двигателя:

а) от прямой  $O''K$  перпендикулярно диаметру  $OD$  откладывают на диаграмме номинальную мощность электродвигателя  $P_{2\text{ном}}$  в виде отрезка  $Nn_1$ , определяемого из выражения

$$Nn_1 = P_{2\text{ном}} / m_p,$$

где значение мощности  $P_{2\text{ном}}$ , Вт берется из паспорта электродвигателя.

б) продлевают отрезок  $Nn_1$  до пересечения с осью абсцисс в точке  $L$ . Обозначают на отрезке  $NL$  точки  $n_2$ ,  $n_3$  и  $n_4$ .



**2) Определение на круговой диаграмме мощностей двигателя** (при оформлении отчета по лабораторной работе вычисления в соответствии с данным пунктом **2)** не производить):

**а)** линии  $O_1E$ ,  $OB$ ,  $OK$  и  $O''K$  круговой диаграммы называются линиями первичной  $P_1$ , электромагнитной  $P_{эм}$ , механической  $P_{мх}$  и вторичной  $P_2$  мощностей (линия  $OB$  также называется линией электромагнитного момента)

**б)** значения мощностей  $P_{1ном}$ ,  $P_{мх}$ ,  $P_{эм}$  и  $P_{2ном}$ , Вт при номинальном режиме двигателя пропорциональны соответственно отрезкам  $NL$ ,  $Nn_2$ ,  $Nn_3$  и  $Nn_1$ , см причем

$$P_{1ном} = m_p \cdot NL, \quad P_{мх} = m_p \cdot Nn_2, \quad P_{эм} = m_p \cdot Nn_3, \quad P_{2ном} = m_p \cdot Nn_1;$$

**в)** для определения значений мощностей  $P_1$ ,  $P_{эм}$ ,  $P_{мх}$  и  $P_2$ , Вт при различных значениях скольжения в диапазоне  $0,0 < s < 1,0$ , например при  $s = 0,3$ , (то есть при *не номинальном* режиме) проводят из точки  $O$  отрезок до точки  $s = 0,3$  на шкале скольжения. Фиксируют на дуге  $OO''K$  точку пересечения с этим отрезком; опускают из этой точки перпендикуляр на ось абсцисс; обозначают на нем точки пересечения с вышеуказанными линиями мощностей и рассчитывают значения мощностей по формулам, приведенным в **п. б)**. Аналогично определяются значения мощностей при других значениях скольжения (построения соответствующие пункту **в)** на рис. 2.2 не показаны).

**3) Определение на круговой диаграмме потерь мощности в двигателе** (при оформлении отчета по лабораторной работе вычисления в соответствии с данным пунктом **3)** не производить) :

**а)** значения электрических потерь мощности  $p_{э1}$  и  $p_{э2}$ , Вт в обмотке статора и в обмотке ротора при номинальном режиме двигателя пропорциональны соответственно составляющим  $n_3n_4$  и  $n_2n_3$ , см отрезка  $NL$ , причем

$$p_{э1} = m_p \cdot n_3n_4, \quad p_{э2} = m_p \cdot n_2n_3;$$

**б)** значения суммы механических и добавочных потерь мощности  $p_{мх} + p_{дб}$ , Вт в при номинальном режиме двигателя пропорциональны составляющей  $n_1n_2$ , см отрезка  $NL$ , причем

$$p_{мх} + p_{дб} \approx m_p \cdot n_1n_2;$$

**в)** значения суммы магнитных потерь  $p_{мг}$  и электрических потерь мощности в обмотке статора от тока идеального холостого хода (они постоянны и равны разности  $P_x - p_{мх}$ , Вт) при номинальном режиме двигателя пропорциональны составляющей  $n_4L = OO'$ , см отрезка  $NL$ , причем

$$P_x - p_{мх} = m_p \cdot n_4L;$$

**г)** определение значений потерь мощности при не номинальном режиме двигателя выполняется на основе построений, описанных в **п.2) в)**, а также формул, приведенных в **п.п. 3) а) б) в)**.

#### **4.6.4. Определение по круговой диаграмме значений коэффициента мощности, коэффициента полезного действия и скольжения**

**1) Определение коэффициента мощности  $\cos \varphi$  при номинальной мощности двигателя  $P_{2ном}$ :**



*а)* проводят линию  $O_1N$  и продлевают ее до пересечения с дугой (точка  $P$ ), служащей для определения коэффициента мощности. Опускают перпендикуляр из этой точки на шкалу коэффициента мощности;

*б)* коэффициент мощности  $\cos \varphi_{\text{ном}}$  определяется по шкале коэффициента мощности.

### 2) Определение скольжения $s$ при номинальной мощности двигателя $P_{2\text{ном}}$ :

*а)* проводят линию  $ON$ . Точка пересечения этой линии со шкалой скольжения определяет значение скольжения  $s_{\text{ном}}$  при номинальной мощности двигателя.

### 3) Определение коэффициента полезного действия двигателя $\eta$ при номинальной мощности двигателя:

КПД двигателя определяют косвенным методом по формуле

$$\eta = 100(1,0 - \Sigma p/P_{1\text{ном}}), \%$$

где  $\Sigma p = p_{\text{э1}} + p_{\text{мг}} + p_{\text{мх}} + p_{\text{э2}} + p_{\text{дб}}$  – сумма всех потерь в двигателе;

$p_{\text{э1}} = 3 \cdot I_{1\text{фном}}^2 R_{1(75^\circ)}$  – электрические потери в обмотке статора; номинальный фазный ток в обмотке статора определяется из круговой диаграммы как  $I_{1\text{фном}} = m_i O_1N$ ;

$p_{\text{мг}}$  и  $p_{\text{мх}}$  – магнитные (в стали) и механические потери (см. табл. 2.2, графа Расчет);

$p_{\text{э2}} = s_{\text{ном}} \cdot P_{\text{эм}} = s_{\text{ном}}(P_{1\text{ном}} - p_{\text{мг}} - p_{\text{э1}})$  – электрические потери в обмотке ротора; скольжение  $s_{\text{ном}}$  определено из круговой диаграммы (см. п. 2);

$p_{\text{дб}} = 0,005 \cdot P_{1\text{ном}}$  – добавочные потери;

$P_{1\text{ном}}$  – потребляемая из сети мощность определяется из диаграммы как  $m_p \cdot LN$ .

Значения коэффициента мощности, коэффициента полезного действия и скольжения: *а)* определенные по круговой диаграмме (см. п. 4.6.4); *б)* полученные на основе опыта снятия рабочих характеристик (см. п. 4.4) записать в табл. 2.7 и сопоставить со значениями, гарантированными заводом – изготовителем.

Таблица 2.7

Величина определена	$\cos \varphi$	$s$	$\eta$
	-	-	%
По паспорту двигателя (гарантированное значение)	<b>0,82</b>	*	<b>78</b>
Из круговой диаграммы			
На основе опыта снятия рабочих характеристик			

\* Примечание: рассчитать значение  $s_{\text{ном}} = (n_1 - n_{\text{ном}})/n_1$

#### 4.6.5. Определение по круговой диаграмме максимального электромагнитного момента, характеристик $s = f(M_{\text{эм}})$ , $s = f(I_1)$ и кратностей пускового момента и пускового тока

##### 1) Определение номинального электромагнитного момента:

Электромагнитный момент  $M_{\text{ном}}$  пропорционален отрезку  $Nn_3$

$$M_{\text{НОМ}} = m_m N n_3,$$

где  $m_m = p \cdot m_p / 2\pi \cdot f_1$ , Н·м/см – масштаб момента,  $p = 2$  – число пар полюсов двигателя,  $f_1 = 50$  Гц;

## 2) Определение максимального электромагнитного момента:

**а)** Максимальный электромагнитный момент  $M_{\text{max}}$  пропорционален отрезку  $N'n'_3$ . Для нахождения этого отрезка необходимо провести к годографу токов касательную параллельно линии электромагнитной мощности  $OB$ , и из точки касания  $N'$  опустить перпендикуляр на диаметр  $OD$ . Пересечение перпендикуляра с линией  $OB$  определяет точку  $n'_3$

$$M_{\text{max}} = m_m N'n'_3;$$

**б)** Кратность максимального электромагнитного момента (перегрузочная способность двигателя) определяется отношением

$$\kappa_m = M_{\text{max}}/M_{\text{НОМ}} = N'n'_3/Nn_3.$$

## 3) Определение пускового электромагнитного момента

**а)** Пусковой электромагнитный момент  $M_{\text{п}}$  пропорционален отрезку  $Kn''_3$ . Пересечение перпендикуляра  $KH_1$  к диаметру  $OD$  с линией электромагнитной мощности  $OB$  определяет точку  $n''_3$

$$M_{\text{п}} = m_m Kn''_3;$$

**б)** Кратность пускового электромагнитного момента определяется отношением

$$\kappa_{\text{п}} = M_{\text{п}}/M_{\text{НОМ}} = Kn''_3/Nn_3.$$

## 4) Определение пускового тока обмотки статора:

**а)** Пусковой ток обмотки статора  $I_{1\text{п}}$  пропорционален отрезку  $O_1K$

$$I_{1\text{п}} = m_i \cdot O_1K;$$

**б)** Кратность пускового тока определяется отношением

$$\kappa_i = I_{1\text{п}}/I_{1\text{ф.НОМ}} = O_1K/O_1N.$$

Значения кратностей пускового тока, пускового и максимального моментов занести в табл. 2.8

Табл. 2.8

кратность пускового тока	$\kappa_i =$
кратность пускового момента	$\kappa_{\text{п}} =$
кратность максимального моментов	$\kappa_m =$

## 5) Определение характеристики $s = f(M_{\text{ЭМ}})$ :

Задаваясь рядом значений скольжения двигателя (см. табл. 2.9), необходимо определить по круговой диаграмме соответствующие им значения электромагнитного момента. Для определения значений момента необходимо произвести построения, подобные описанным в *разделе 4.6.3, п. 2) в)* и выполнить расчеты, подобные описанным в *разделе 4.6.5, п. 1)*. Результаты записать в табл. 2.9.

Таблица 2.9

$s$	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0
$M_{эм}, Н·м$										
$I_1, А$										

На графике зависимости  $s = f(M_{эм})$  необходимо отобразить точки и их координаты, соответствующие значениям номинального {раздел 4.6.5, п.1}, максимального {раздел 4.6.5, п.2} и пускового моментов {раздел 4.6.5, п.3}. На оси ординат необходимо показать кроме значений скольжения  $s$  также значения частоты вращения ротора  $n$ , выраженные в долях синхронной частоты вращения поля  $n_1$ , то есть  $n/n_1 = 1 - s$ .

#### б) Определение характеристики $s = f(I_1)$ :

Задаваясь рядом значений скольжения двигателя (см. табл. 2.9), необходимо определить по круговой диаграмме соответствующие им значения тока обмотки статора  $I_1$ . Для определения значений этого тока осуществляют следующие действия (рис. 2.2): а) проводят из точки  $O$  лучи упирающиеся в шкалу скольжения в точках соответствующих значениям скольжения, приведенным в табл. 2.9; б) фиксируют на дуге  $OO''K$  точки пересечения этих лучей с дугой (см. на рис. 2.2 отрезок  $ON$  и точку  $N$ ); в) из точки  $O_1$  проводят отрезки в точки пересечения (см. отрезок  $O_1N$ ); длина полученных отрезков пропорциональна значениям тока статора.

Ток статора соответствующий точке  $N$  (и скольжению  $s_{ном}$ ) определяется как  $I_{1ф.ном} = m_i O_1N$ . Подобным образом определяются значения тока статора при других значениях скольжения. Результаты записываются в табл. 2.9.

На графике  $s = f(I_1)$  необходимо отобразить точки и их координаты, соответствующие значениям номинального и пускового тока {раздел 4.6.5, п.4}.

По данным табл. 2.9 построить зависимости  $s = f(M_{эм})$ ,  $s = f(I_1)$ . Они соответствуют двигательному режиму работы асинхронной машины. На оси ординат необходимо показать кроме значений скольжения  $s$  также значения частоты вращения ротора  $n$ , выраженные в долях синхронной частоты вращения поля  $n_1$ , то есть  $n/n_1 = 1 - s$ .

### **Примечание. Оценка точности построения круговой диаграммы**

При оценке точности нахождения значений кратностей пускового момента и тока, а также максимального момента (раздел 4.6.5), которые определены без учета насыщения стали магнитопровода, необходимо учитывать, что при больших токах и скольжениях параметры двигателя (сопротивления Г-образной схемы замещения) перестают быть постоянными, поэтому годограф токов будет более сложной линией, чем окружность.

Каждой точке на окружности токов, то есть на годографе векторов тока статора и ротора (рис. 2.2), соответствует уравнение равновесия МДС асинхронной машины  $\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}''_2)$ , где  $\dot{I}_1$  – вектор тока статора;  $\dot{I}_0$  – вектор тока статора при идеальном холостом ходе двигателя ( $s = 0,0$ );  $\dot{I}''_2$  – вектор приведенного тока ротора.

Для номинальной точки  $N$  векторам этого уравнения соответствуют отрезки  $O_1N$ ,  $O_1O$  и  $ON$ ; для точки короткого замыкания  $K$  – отрезки  $O_1K$ ,  $O_1O$  и  $OK$  и т.д. Как видно из рис. 2.2 диаметр годографа векторов тока  $OD$  соответствует наибольшему значению приведенного тока ротора, который является чисто реактивным. Длина диаметра  $OD$  практически обратно пропорциональна индуктивному сопротивлению короткого замыкания  $X_k = X_1 + X'_2$ . С увеличением скольжения вследствие насыщения зубцовой зоны магнитопровода это сопротивление уменьшается, а диаметр круговой диаграммы уже по этой причине увеличивается по сравнению с его значением при малых скольжениях и поэтому годограф токов будет более сложной линией, чем окружность.

Круговая диаграмма строится по данным опытов холостого хода (разд. 4.2) и короткого замыкания (разд. 4.3) асинхронного двигателя и используется в соответствии с ГОСТ 7217-87 Машины электрические вращающиеся. Двигатели асинхронные. Методы испытаний для проверки гарантированных заводом-изготовителем значений: коэффициента полезного действия  $\eta$ , коэффициента мощности  $\cos \varphi$  и скольжения  $s$  при номинальной нагрузке (разд. 4.6.4), а также для определения максимального вращающего момента двигателя (разд. 4.6.5).

## 5. Содержание и оформление отчета

Отчет должен содержать:

1. Титульный лист.
2. Оглавление.
3. Программу лабораторной работы.
4. Номинальные данные асинхронного двигателя.
5. Схему испытаний.
6. Результаты опытов и расчетов, представленных в таблицах 2.1...2.9; ниже каждой таблицы приводятся формулы для расчета величин. Затем размещаются графические зависимости (п.п. 7.1...7.6), соответствующие таблице.
7. Экспериментальные и расчетные графические зависимости:
  - 7.1.  $p_{\text{мг}} + p_{\text{мх}} = f(U_x^2)$  – график разделения потерь мощности;
  - 7.2.  $I_x, P_x, \cos \varphi_x = f(U_x)$  – характеристики холостого хода;
  - 7.3.  $I_k, P_k, \cos \varphi_k = f(U_k)$  – характеристики короткого замыкания ;
  - 7.4.  $I_1, P_1, M, \cos \varphi, \eta, s = f(P_2)$  – рабочие характеристики;
  - 7.5.  $s, n/n_1 = f(M_{\text{эм}})$  – механическая характеристика (на оси ординат отобразить кроме значений скольжения  $s$ , также значения относительной частоты вращения ротора  $n/n_1 = 1 - s$ );
  - 7.6.  $s, n/n_1 = f(I_1)$  – скоростная характеристика.
8. Круговую диаграмму с соответствующими построениями.

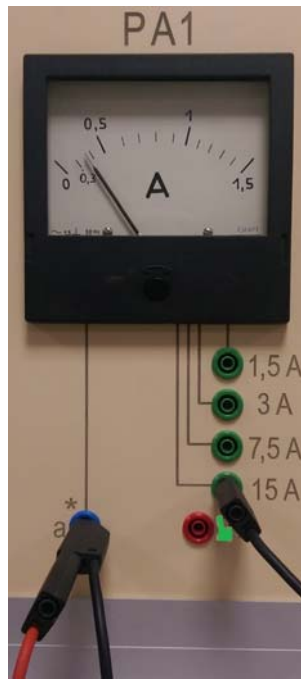
Текст отчета оформить в текстовом процессоре *MS Word* (шрифт *Times New Roman*, 12 пт.). Графики строить в интерактивном графическом пакете *Grapher*. Схему опыта и круговую диаграмму вычертить в интерактивном графическом пакете *AutoCAD*. Отчет подшить в простую папку-скоросшиватель. Листы отчета в файл / файлы не вставлять.

## 6. Контрольные вопросы

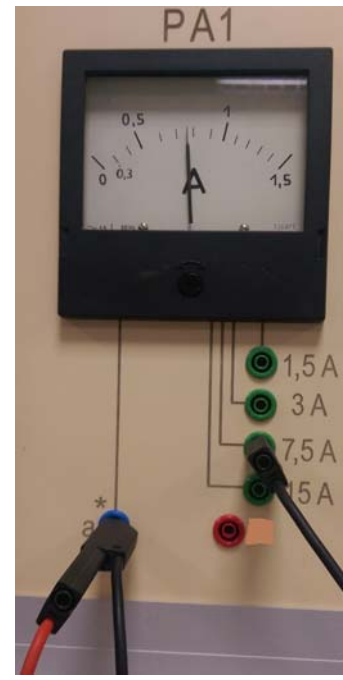
1. Перечислить условия создания вращающегося магнитного поля трехфазной распределенной обмоткой.
2. Объяснить принцип действия асинхронного двигателя.
3. Устройство асинхронного двигателя с фазным ротором.
4. Нарисовать и объяснить энергетическую диаграмму двигателя.
5. С какой целью в цепь ротора при пуске двигателя с фазным ротором включается пусковой реостат?
6. Изобразить и объяснить форму механической  $n = f(M)$  и скоростной  $n = f(I_1)$  характеристик двигателя.
7. Изобразить Г-образную схему замещения двигателя и объяснить физический смысл всех ее параметров.
8. Как изменить направление вращения ротора двигателя?
9. Объяснить эффект Гёргеса (*Görges*).



а)



б)



в)

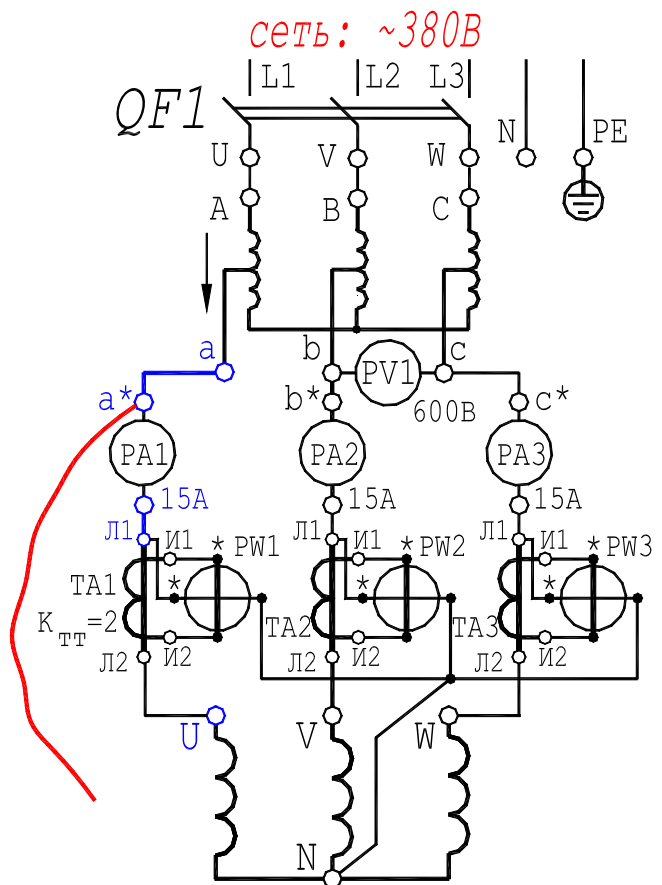
1. На рис. 2.3, б) из синего гнезда «а\*» выходят два проводника:
  - 1-й, **черный**, он соединяет на рис. 2.3, в) гнезда «а\*» и «а»;
  - 2-й, **красный**, он в опытах «висит» из гнезда «а\*»;
2. На рис. 2.3, б) из гнезда «15 А» выходит один проводник: он соединяет на рис. 2.3, в) гнезда «15 А» и «Л1»; именно этот проводник необходимо переставить в гнездо «7,5 А» (или другое) не разрывая цепь с током.

**3. Последовательность перехода:**

- 3.1. Свободный (висящий) конец **красного** проводника (рис. 2.3, в)) вставить в гнездо «U» ('это начало фазы U): амперметр PA1 зашунтирован, стрелка прибора находится на нуле;
- 3.2. Вынуть проводник из гнезда «15 А» и вставить в гнездо «7,5 А» {см. рис. 2.3, в) и в)};
- 3.3 Вынуть конец **красного** проводника из гнезда «U» и оставить его «висящим».

На этом процесс перехода на диапазон измерений токов **7.5 А** завершен.

*Аналогично совершается переход на диапазон измерений токов **7.5 А** в фазах V и W.*



в {изображена часть рис. 2.1}

**Цена деления амперметров PA1, PA2 и PA3 :**

- диапазон 15 А – 1 А/дел; диапазон 7,5 А – 0,5 А/дел;
- диапазон 3 А – 0,2 А/дел; диапазон 1,5 А – 0,1 А/дел.

Рис. 2.3. Последовательность перехода с верхнего диапазона измерений токов «15 А» на диапазон измерений токов «7.5 А» (на примере амперметра PA1 в фазе U обмотки статора)



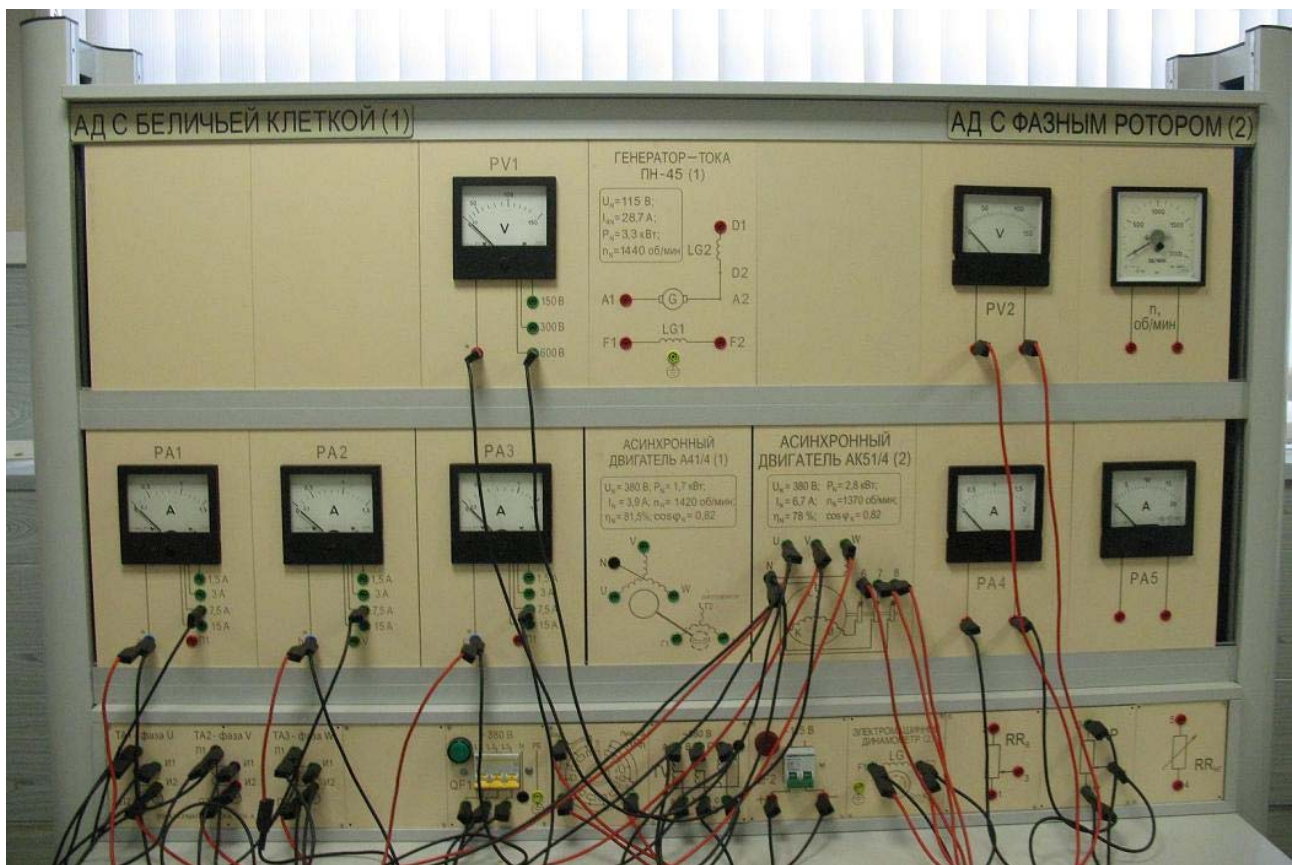


Рис. 2.4. Фотография приборной панели лабораторного стенда для исследования трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором



Рис. 2.5. Фотография исследуемого агрегата «Трехфазный асинхронный двигатель с фазным ротором – электромашинный динамометр»  
(номинальные данные – см. рис. 2.1)